

КУШАЛ КИШОР ЧУДХАРИ*, ЛАКШМИ НАРАЙЯН ШУКЛА,
ЧАНДЕШВАР ПРАСАД ШУКЛА

Бихарский ун-т им. Б.Р. Амбедкара, каф. ботаники,
Музафарпур, 842 001 Бихар, Индия
*e-mail: kkc1970@gmail.com

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ *CYANOPROKARYOTA* В РИСОВЫХ ЧЕКАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗОЛЬНОЙ ПЫЛЬЮ (СЕВЕРНЫЙ БИХАР, ИНДИЯ)

Приведены данные о видовом разнообразии *Cyanoprokaryota* в рисовых чеках, загрязненных зольной пылью из выбросов Национальной теплостанции (НТЭС). Пробы *Cyanoprokaryota* собраны на почве и в воде рисовых чеков в период с 49 по 51 день после посева риса на трех участках рисовых плантаций, расположенных на разном расстоянии (0-100 м, 150-250 м и 300-400 м) от НТЭС. Выявлено 42 вида водорослей из 23 родов, из которых 18 видов из 13 родов были обнаружены на расстоянии 0-100 м от НТЭС, 29 видов (20 родов) на расстоянии 150-250 м, 36 видов (21 род) найдены в 300-400 м от станции; ряд видов оказались общими для всех трех участков. На всех исследованных участках преобладали гетероцистные формы *Cyanoprokaryota*: на ближнем участке 0-100 м выявлено 11 видов из 9 гетероцистных родов, на расстоянии 150-250 м развивались 20 видов из 14 родов, 25 видов из 15 родов обнаружены в 300-400 м от НТЭС. Безгетероцистные виды распределялись следующим образом: на ближайшем к станции участке найдено 7 видов (4 рода), на более отдаленном – 9 видов из 6 родов и на самом отдаленном выявлено 11 видов из 6 родов. Представители родов *Anabaena* и *Nostoc* доминировали на всех изученных участках. Проведенные исследования свидетельствуют о негативном воздействии зольной пыли на видовое разнообразие *Cyanoprokaryota* в полевых условиях. Предложены способы улучшения почв сельскохозяйственного использования, загрязняемых зольной пылью, с помощью специально отобранных штаммов *Cyanoprokaryota*, устойчивых к зольным загрязнениям.

Ключевые слова: *Cyanoprokaryota*, разнообразие, зольная пыль, рисовые чеки, Северный Бихар, Индия.

Введение

С развитием промышленности, основанной на сжигании угля, в воздухе, почве и воде концентрация тяжелых металлов, содержащихся в зольной пыли, превысила допустимый уровень. В то же время, зольная пыль содержит некоторые важные для роста растений элементы, как,

© Кушал Кишор Чудхари, Лакшми Нарайян Шукла, Чандешвар Прасад Шукла, 2011

например, K, Na, Zn, Ca, Mg и Fe. Поэтому ее рекомендуют вносить отдельно или в сочетании с навозом, компостом или химическими удобрениями для повышения плодородия и продуктивности кислых и известковых почв (Mitra et al., 2005; Sharma, Kalra, 2006). Однако присутствие высоких концентраций тяжелых металлов в зольной пыли представляет серьезную угрозу для окружающей среды. Зольная пыль содержит следующие тяжелые металлы: Hg, Mn, Cu, Pb, Ni, Fe, Cr, Cd, V, Mo, Se и Al, а также некоторые природные радионуклиды (например, U^{235} и Th^{232}) и продукты их распада (Globel, Andres, 1985). Накопление этих токсических элементов в почве и воде влияет на их продуктивность. Попадая в почву, тяжелые металлы накапливаются в растениях и их частях, в частности в зерне (Carlson, Adriano, 1993). Кроме того, накопление тяжелых металлов приводит к уменьшению разнообразия микроорганизмов, которые вносят существенный вклад в круговорот питательных веществ в агроэкологических системах (Arthur et al., 1984).

Фотосинтезирующие *Cyanoprokaryota*, распространенные по всему миру, играют важную роль в обогащении почв сельскохозяйственного использования питательными веществами. В рисовых чеках *Cyanoprokaryota* развиваются особенно обильно, поскольку там лучшие условия для их роста: оптимальная температура, питательные вещества и уровень освещенности. Выращивание риса требует достаточного количества воды, поэтому самый подходящий период для его выращивания – сезон дождей. С дождевой водой в рисовые чеки поступает большое количество зольной пыли, которая влияет на разнообразие *Cyanoprokaryota*.

Они считаются лучшими биосистемами для повышения плодородия почв путем обогащения ее азотом и фосфором (Mandal et al., 1999; Valiente et al., 2000). Благодаря способности к преобразованию азота атмосферы в сложные органические соединения, используя нитрогеназный ферментный комплекс, находящийся в гетероцистах, *Cyanoprokaryota* вносят весомый вклад в азотные ресурсы почвы (Adams, Duggan, 1999). Кроме того, при помощи фермента фосфотазы они мобилизуют неорганический фосфор почвы и обогащают ее гормонами роста (Whitton et al., 1991; Kartikeyen et al., 2008). Исследования *Cyanoprokaryota* в качестве природных удобрений показали их большой потенциал для увеличения плодородия и восстановления загрязненных почв и воды. Разнообразие *Cyanoprokaryota* в различных экосистемах изучено с разных позиций (Kim, Lee, 2006; Choudhary, Vimal, 2010). Однако сведения о них из районов, прилегающих к тепловым электростанциям и подвергающихся влиянию их выбросов в виде зольной пыли, немногочисленны.

Поэтому целью нашего исследования было изучение видового состава *Cyanoprokaryota* в окрестностях ТЭЦ и дальнейшее использование полученных результатов для разработки способов улучшения состояния почв, загрязняемых зольной пылью.

Материалы и методы

Исследования проводили в рисовых чеках, подвергаемых воздействию зольной пыли, расположенных поблизости Национальной теплоэлектростанции (Канти, р-н Музафарпур, Северный Бихар, Индия, 26°87'12 N, 85°24'0 E). Для исследования были выбраны три различных участка рисовых плантаций, расположенных на расстоянии 0–100 м, 150–250 м и 300–400 м от станции. Размер каждого участка был приблизительно 100 м, между ними были 50-метровые участки, также засаженные рисом, чтобы обеспечить изолированность исследуемых участков друг от друга. Сбор материала проводили в августе 2009 г. в период с 49 по 51-й день после высадки растений. Пробы отбирали из 20 точек каждого из трех участков с чеками, содержащими побеги риса. Разнообразные разрастания *Cyanoprokaryota* с поверхности почвы и воды, а также развивающиеся на растениях риса отбирали в стеклянные культуральные пробирки объемом 50 мл, содержащие питательную среду BG-11 (Rippka et al., 1979) и доставляли в лабораторию. Собранный материал микроскопировали в живом виде, виды определяли, используя морфологические признаки: форму и размеры клеток, строение (одноклеточное, нитчатое или колониальное), конечные клетки, наличие или отсутствие гетероцист, акинет и газовых вакуолей (Desikachary, 1959).

Результаты и обсуждение

На трех участках, подверженных воздействию выбросов НТЭС, выявлено 42 вида из 23 родов *Cyanoprokaryota* (см. таблицу). На первом участке рисовой плантации, непосредственно прилегающем к станции (0–100 м), найдено 18 видов из 13 родов. По мере удаления от источника выбросов зольной пыли разнообразие *Cyanoprokaryota* увеличивалось: на втором участке (150–250 м от НТЭС) обнаружено 29 видов из 20 родов, на третьем (300–400 м) – 36 видов из 21 рода (см. таблицу). Десять видов из числа обнаруженных были общими для всех трех участков. На первом и втором участках найдено 13 общих видов, а 23 вида были общими для второго и третьего, наиболее удаленного от источника выбросов участка. Общими для всех участков были виды родов *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Aphanizomenon*, *Aphanothece*, *Calothrix*, *Nostoc*, *Phormidium*, *Plectonema*, *Scytonema* и *Tolypothrix*, все они были представлены одним видом каждый (см. таблицу).

Наименее разнообразным был состав *Cyanoprokaryota* на участке, прилегающем к НТЭС. Здесь выявлено 11 гетероцистных форм из 9 родов и 7 безгетероцистных из 4 родов, включая 4 вида хроококовых и 3 вида осцилаториальных *Cyanoprokaryota*. На втором и третьем участках (в 150–250 м и в 300–400 м от НТЭС) выявлено 9 и 11 безгетероцистных форм (в обоих случаях относящихся к шести родам) и 20 и 25 ви-

дов (14 и 15 родов) соответственно, имеющих гетероцисты. Число видов безгетероцистных представителей *Cyanoprokaryota* на всех трех участках отличалось незначительно, а вот азотфиксирующие формы по мере отдаления от станции становились все разнообразнее, их число изменилось с 11 видов в 0–100 м от НТЭС до 25 видов на расстоянии 300–400 м.

Деградация почвенного плодородия и снижение продукционного потенциала, необходимость регуляции этих процессов для устойчивого развития экосистем требуют безотлагательных научных исследований *Cyanoprokaryota*. Они населяют разнообразные местообитания и способны преобразовывать молекулярный азот атмосферы в азотные соединения, удерживать неограниченные фосфаты и стимуляторы роста в обрабатываемых почвах (Whitton et al., 1991; Adams, Duggan, 1999; Kartikeyen et al., 2008).

Таблица

Видовой состав *Cyanoprokaryota* в рисовых чеках, загрязненных зольной пылью

Таксон	0-100 м	150-250 м	300-400 м
<i>Aphanocapsa biformis</i> A. Braun	-	+	+
<i>Aphanothece bullosa</i> (Menegh.) Rabenh.	+	-	+
<i>A. stagnina</i> (Spreng.) A. Braun	+	+	+
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz.) Kütz.	+	+	-
<i>M. flos-aquae</i> (Wittr.) Kirchn.	+	+	-
<i>Lyngbya major</i> Menegh. ex Gomont	-	+	+
<i>L. birgei</i> G.M. Smith	-	-	+
* <i>L. majuscula</i> (Dillwyn) Harv. ex Gomont	-	-	+
* <i>Trichocoleus sociatus</i> (W. West & G.S. West) Anagn.	+	-	+
* <i>Phormidium formosum</i> (Bory de Saint-Vincent) Anagn. & Komárek	-	-	+
<i>Oscillatoria princeps</i> Vaucher ex Gomont	-	+	+
* <i>Phormidium limosum</i> (Dillwyn) P.C. Silva	-	+	-
<i>Ph. ambiguum</i> Gomont	+	-	+
* <i>Leptolyngbya mucosa</i> (Gardner) Anagn. & Komárek	-	+	-
* <i>L. tenuis</i> (Gomont) Anagn. & Komárek	+	+	+
<i>Anabaenopsis arnoldii</i> Aptekar var. <i>indica</i> Ramathan	+	+	+
* <i>Trichormus doliolum</i> (Bharadwaja) Komárek & Anagn.	+	+	+
<i>Anabaena iyengarii</i> Bharadwaja	+	-	+
* <i>A. oryzae</i> (F.E. Fritsch) Komárek & Anagn.	-	+	+
<i>A. oscillatoroides</i> Bory ex Born. & Flah.	-	-	+
* <i>Trichormus variabilis</i> (Kütz. ex Born. & Flah.) Komárek & Anagn.	-	+	-

<i>A. sphaerica</i> var. <i>attenuata</i> Bharadwaja	-	+	+
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (Linn.) Ralfs ex Born. & Flah.	+	+	+
<i>Aulosira prolifica</i> Bharadwaja	-	+	+
<i>Cylindrospermum majus</i> Kütz.	-	-	+
<i>C. stagnale</i> (Kütz.) Born. & Flah.	-	+	+
<i>Nodularia spumigena</i> Mertens	+	+	-
<i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Born. & Flah.	+	-	+
<i>N. linckia</i> (Roth.) Born. ex Born. & Flah.	-	+	+
<i>N. muscorum</i> C. Agardh ex Born. & Flah.	-	+	+
<i>N. punctiforme</i> (Kütz.) Hariot	+	+	+
<i>Calothrix javanica</i> De Wild.	-	+	+
<i>C. marchica</i> var. <i>crassa</i> C.B. Rao	+	+	+
<i>Gloeotrichia raciborskii</i> var. <i>conica</i> Dixit	-	+	+
<i>Microchaete uberrima</i> N. Carter	-	+	+
* <i>Leptolyngbya boryana</i> (Gomont) Anagn. & Komárek	+	+	+
<i>Rivularia aquatica</i> De Wild.	-	-	+
<i>Scytonema fritschii</i> S.L. Ghose	+	+	+
<i>S. simplex</i> Bharadwaja	-	-	+
<i>Tolypothrix tenuis</i> Kütz.	+	+	+
<i>Hapalosiphon welwitschii</i> W. West & G.S. West			
<i>Westiellopsis prolifia</i> Janet			

“+” – Наличие , “-“ – отсутствие, * – актуальное название (www.algaebase.org)

Зольная пыль, оседающая на поля, приводит к изменению состава и структуры почв из-за попадания в них токсичных металлов и мелких частиц, что влияет на содержание влаги в почве, появление всходов, рост корней и побегов и, в конечном итоге, на урожайность (Sharma, Kalra, 2006). Остро стоит вопрос об утилизации зольной пыли, загрязняющей сельскохозяйственные угодья и другие экосистемы. Хотя в зольной пыли присутствуют некоторые элементы, важные для роста растений. Самый важный из них – азот содержится в ничтожном количестве или полностью отсутствует (Sharma, Kalra, 2006).

Результаты исследования видового состава Цианопрокaryota, развивающихся в массовых количествах на загрязненных зольной пылью рисовых плантациях, могут помочь в решении вопроса улучшения их плодородия путем подбора и внесения в почву полей эффективных нативных штаммов Цианопрокaryota. Отмеченное нами увеличение видового разнообразия Цианопрокaryota по мере удаления от НТЭС согласуется с данными Дж. Питчела и Дж. Хейса (Pitchel, Hayes, 1990). Они установили, что внесение зольной пыли снижает численность и ферментную активность почвенных микроорганизмов. В частности, речь идет о таких

ферментах, как фосфатаза, сульфатаза, дегидрогеназа и инвертаза. Внесение зольной пыли в песчаную почву и илистый суглинок вызывало снижение микробного дыхания и процессов нитрификации в почве (Arthur et al., 1984; Cerevelli et al., 1986; Wong, Wong, 1986). В дальнейшем было установлено, что снижение разнообразия микроорганизмов связано с высоким рН зольной пыли и/или присутствием высоких концентраций токсических тяжелых металлов (Sharma, Kalra, 2006). Кроме того, увеличение доли гетероцистных форм в загрязненной зольной пылью почве может быть связано с их азотфиксирующим потенциалом. Также некоторые *Cyanoprokaryota* способны абсорбировать тяжелые металлы, синтезируя особые связывающие металл белки – металлотронины, которые уменьшают влияние ионов токсичных металлов на организм и общее состояние загрязненной экосистемы (Gardea-Torresdey et al., 1998). Подбор эффективных нативных штаммов *Cyanoprokaryota* может обеспечить поступление в почву сельскохозяйственных угодий до ступных источников азота, фосфора, полисахаридов и соединений, способствующих росту растений (Mandal et al., 1999; Valiente et al., 2000; Kartikeyen et al., 2008). Наше исследование показало, что нативные штаммы *Cyanoprokaryota* могут быть использованы для улучшения почв, загрязненных зольной пылью.

Заключение

Исследование на рисовой плантации, расположенной в непосредственной близости от теплоэлектростанции, загрязняющей прилегающую территорию зольной пылью, показало достаточно высокий уровень видового разнообразия *Cyanoprokaryota*, на участках, отдаленных от станции на расстоянии 300 и более метров. Полученные результаты позволяют предположить, что подбор и последующее внесение штаммов *Cyanoprokaryota*, способных к интенсивному росту на загрязненных зольной пылью участках, может стать действенным методом улучшения их состояния, а также получения более безопасных для здоровья людей сельхозпродуктов.

В дальнейшем необходимо сосредоточить внимание на подборе и изучении потенциальных возможностей штаммов, выделенных из загрязненных зольной пылью местообитаний, а также разработать регламенты их внесения в чистом виде или в смеси с навозом, компостом или химическими удобрениями на участки, загрязненные зольной пылью, с целью поддержания микробиологической активности почвы, связывания тяжелых металлов и, в конечном итоге, получения качественных сельскохозяйственных культур.

Авторы выражают благодарность руководству кафедры ботаники Бихарского ун-та им. Б.Р. Амbedкара за помощь в организации исследований.

- Adams, D.G. & P.S. Duggan. 1999. Heterocyst and akinete differentiation in Cyanobacteria. *New Phytol.* **144**(1): 3-33.
- Arthur, M.F., T.C. Zwick, D.A. Tolle & P. Vanvoris. 1984. Effect of fly ash on microbial CO₂ evolution from an agricultural soil. *Water Air Soil Pollut.* **22**(2): 209-216.
- Carlson, C.L. & D.C. Adriano. 1993. Environmental impacts of coal-combustion residues. *J. Environ. Qual.* **22**(2): 227-247.
- Cerevelli, S.G., A. Petruzzelli, A. Perna & R. Menicagli. 1986. Soil nitrogen and ash utilization. A laboratory investigation. *Agrochimica* **30**(1): 27-35.
- Choudhary, K.K. & R. Bimal. 2010. Distribution of nitrogen-fixing cyanobacteria (*Nostocaceae*) during rice cultivation in fertilized and unfertilized paddy fields. *Nord. J. Bot.* **28**(1): 100-103.
- Desikachary, T.V. 1959. *The Cyanophyta*. Ind. Counc. Agricult. Res., New Delhi.
- Gardea-Torresdey, J.L., J.L. Arenas, N.M.C. Francisco, K.J. Tiemann & R. Webb. 1998. Ability of immobilized cyanobacteria to remove metal ions from solution and demonstration of the presence of metallothionein genes in various strains. *J. Hazard. Subst. Res.* **1**(1): 1-18.
- Globel, B. & C. Andres. 1985. Investigation on fly ash and soil samples in the environment of a coal-fired power plant. *Sci. Total Environ.* **45**(1): 63-67.
- Kartikeyan, N., R. Prasanna, A. Sood, P. Jaiswal, S. Nayak & B.D. Kaushik. 2008. Physiological characterization of electron microscopic investigation of Cyanobacteria associated with wheat rhizosphere. *Folia Microbiol.* **54**(1): 43-51.
- Kim, J.-D. & C.-G. Lee. 2006. Diversity of heterocystous filamentous cyanobacteria (blue-green algae) from rice paddy fields and their differential susceptibility to ten fungicides used in Korea. *J. Microbiol. Biotechnol.* **16**(2): 240-246.
- Mandal, B., P.L.G. Vlek & L.N. Mandal. 1999. Beneficial effects of blue-green algae and Azolla, excluding supplying nitrogen, on wetland rice fields: a review. *Biol. Fertil. Soils* **28**(4): 329-342.
- Mitra, B.N., S. Karmakar, D.K. Swain & B. C. Ghosh. 2005. Fly ash – a potential source of soil amendment and a component of integrated plant nutrient supply system. *Fuel* **84**(11): 1447-1451.
- Pitchel, J.R. & J.M. Hayes. 1990. Influence of fly ash on soil microbial activity and populations. *J. Environ. Qual.* **19**(3): 593-597.
- Rippka, R., D. Joseette, J.B. Waterbury, M. Herdman & R.Y. Stanier. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of Cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.* **111**(1): 1-61.
- Sharma, S.K. & N. Kalra. 2006. Effect of fly ash incorporation on soil properties and productivity of crops: A review. *J. Sci. Ind. Res.* **65**(5): 383-390.
- Valiente, E.F., A. Ucha, A. Quesada, F. Leganüs & R. Carreres. 2000. Contribution of N₂ fixing cyanobacteria to rice production: availability of nitrogen from ¹⁵N-labelled cyanobacteria and ammonium sulphate to rice. *Plant and Soil* **221**(1): 107-112.
- Whitton, B.A., S.L.J. Grainger, G.R.W. Hawley & J.W. Simon. 1991. Cell-bound and extra-cellular phosphatase activities of the cyanobacterial isolate s. *Microbiol. Ecol.* **21**(1): 85-98.
- Wong, M.H. & W.C. Wong. 1986. Effect of fly ash on soil microbial activity. *Environ. Pollut. Ser. A* **40**(2): 127-144.

Получена 17.09.2010

Рекомендовала к печати О.Н. Виноградова

K.K. Choudhary*, L.N. Shukla, Ch. P. Shukla

Department of Botany, B.R. Ambedkar Bihar University,
Muzaffarpur-842 001, Bihar, India
*e-mail: kkc1970@gmail.com

SPECIES OF *CYANOPHYTA* DIVERSITY IN FLY ASH AFFECTED RICE FIELDS
ALONG NATIONAL THERMAL PLANT (NORTH BIHAR, INDIA)

This study describes the *Cyanophyta* diversity in rice fields contaminating with fly ash along National Thermal Power Station (NTPS). Heterogeneous biomass of *Cyanophyta* (Cyanobacteria) appearing on soil and water surface were randomly collected between 49–51 days of rice seedlings plantation from three sites differing in distances (0–100 m, 150–250 m and 300–400 m) from National Thermal Power Station. Forty-two species belonging to 23 genera were identified from the selected fly ash affected rice fields. Out of 42, 18 species (13 genera), 29 species (20 genera) and 36 species (21 genera) were recorded from (0–100 m), 150–250 m and 300–400 m, respectively with some common forms. All three selected fields witnessed more heterocystous species over non-heterocystous. Eleven (9 genera), twenty (14 genera) and twenty-five (15 genera) species of heterocystous forms were recorded for 0–100 m, 150–250 m and 300–400 m, respectively. Non-heterocystous forms were represented by 7 species (4 genera), 9 species (6 genera) and 11 species (6 genera) for 0–100 m, 150–250 m and 300–400 m away from NTPS, respectively. *Anabaena* and *Nostoc* sp. were dominant forms for all documented fields. The study concluded the negative effect of fly ash accumulation on *Cyanophyta* species diversity under field conditions and proposed the management of fly ash affected soils with fly ash tolerant *Cyanophyta* species for sustainable agriculture practices.

Keywords: *Cyanophyta*, diversity, fly ash, North Bihar, Rice fields.